УДК 004.986

В.Г. Шерстюк
Херсонский национальный технический университет, Украина
Украина, 73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24

МОДЕЛЬ ВЫВОДА ПО ПРЕЦЕДЕНТАМ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ «МУССОН»

V.G. Sherstjuk
Kherson National Technical University, Ukraine
Ukraine, 73008, c. Kherson, Berislav Road, 24

CASE INFERENCE MODEL IN THE "MONSOON" INTELLIGENT SYSTEM

В.Г. Шерстюк
Херсонський національний технічний університет, Україна
Україна, 73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24

МОДЕЛЬ ВИВЕДЕННЯ ЗА ПРЕЦЕДЕНТАМИ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ СИСТЕМІ «МУСОН»

В статье рассматривается вывод по прецедентам в динамической сценарно-прецедентной интеллектуальной системе «Муссон». Рассмотрены фазы цикла вывода по прецедентам, построен фазовый граф вывода. Предложена последовательно-параллельная модель абдуктивного цикла вывода по прецедентам.
Ключевые слова: поток событий, фаза, процесс, прецедент, гипотеза, заключение.

The article deals with the conclusion by cases in the dynamic case-scenario intelligent system "Monsoon". The phases of case inference cycle are considered and the inference phase graph is built. A series-parallel model of abductive case inference cycle is proposed.
Key words: event's stream, phase, process, case, hypothesis, conclusion.

У статті розглядається виведення за прецедентами в динамічній сценарно-прецедентній інтелектуальній системі «Мусон». Розглянуто фази циклу виведення за прецедентами, побудовано фазовий граф виведення. Запропоновано послідовно-паралельну модель абдуктивного циклу виведення за прецедентами.
Ключові слова: потік подій, фаза, процес, прецедент, гіпотеза, висновок.

Для управления динамическими объектами (ДО) в информационно-сложных ситуациях в [1] предложено использовать динамическую сценарно-прецедентную интеллектуальную систему (ДСПИС). Сценарно-прецедентные интеллектуальные системы являются классом систем автоматизированного вывода решений, основанным на принципах повторяемости ситуаций; возможности использования ранее принятых решений в случае возникновения сходных проблемных ситуаций; и представления решений в форме планов и сценариев.

Как показано в [2], ДСПИС должна функционировать в реальном времени, автоматически синтезируя уместные в сложившейся ситуации решения.

Исследование формальных моделей и методов функционирования ДСПИС является на сегодня одной из актуальных и важных научно-технических задач.

Пусть в заданной области взаимодействия C наблюдается множество ДО $A = \{A_0, ...A_i, ...A_n\}$. При изменении значений определенных параметров активности

ДО A_i в соответствующий момент времени t формируется событие ψ_i^t. Последовательность событий каждого наблюдаемого объекта A_i формирует поток событий S_i.

Для решения задач управления ДО в информационно сложных ситуациях ДСПИС «Муссон» [3] получает на входе совокупность потоков наблюдаемых событий $\{S_i\}_{i=0}^{n}$. Прецеденты накапливаются в виде потоков событий в рамках правдоподобной древовидной сети событий (ПДСС) [1].

В результате вывода по прецедентам ДСПИС формирует решение, содержащее план Π, включающий искомую процедуру управления ДО Ω^{Ξ}.

На основе метода динамической оценки подобия потоков событий [4], который позволяет соотнести всякий наблюдаемый поток событий с эталонными потоками событий в ПДСС, в [3] предложен абдуктивный механизм поиска уместных решений, при этом процесс правдоподобного вывода рассматривает ПДСС как упорядоченную последовательность кустов, соответствующих множеству эталонных ситуаций. Механизм основан на принципе инкрементного формирования заключений для множества активных гипотез, построенных в соответствии с динамической оценкой подобия наблюдаемого потока событий эталонным потокам, содержащимся в прецедентах [1].

Цель данной работы состоит в разработке модели цикла правдоподобного вывода по прецедентам, реализующего абдуктивный механизм на правдоподобных древовидных сетях событий и работающего в реальном времени.

Пусть имеется хранилище прецедентов (ХП) $\mathcal{M}$ и заданы функции подобия (SIM) и релевантности (уместности) (REL).

Пусть s_I – проблемная ситуация, описание которой составляет инициирующий прецедент e_I; e_S – прецедент, выбранный из ХП на основании максимально возможного значения оценки (SIM) (*извлеченный* прецедент); e_P – прецедент, признанный уместным в контексте проблемной ситуации s_I на основании максимально возможной оценки уместности (REL) (*уместный* прецедент); e_O – прецедент, на основании решения которого будет формироваться вывод (*опорный* прецедент), e_A – прецедент, решение которого будет приведено к контексту проблемной ситуации (*адаптированный* прецедент), e_R – вновь сформированный прецедент, который необходимо сохранить в ХП (*порожденный* прецедент).

Процесс вывода по прецедентам в ДСПИС представляется в виде цикла (рис. 1), состоящего из восьми основных фаз [5]:

1) RETRIEVE – получение (отбор) из ХП $\mathcal{M}$ прецедента e_S или множества прецедентов $\{e_S\}$ на основе заданного отношения подобия (SIM) (поиск подходящего решения);

2) REUSE – оценка уместности множества прецедентов $\{e_P\}$ на основе $\{e_S\}$ и заданного отношения релевантности (REL), а также выбор опорного прецедента e_O для формирования решения;

3) REBUILD – адаптация опорного прецедента e_O к контексту проблемной ситуации s_I;

4) REVISE – верификация и коррекция в случае необходимости адаптированного решения e_A;

5) RESEARCH – обучение ХП, обобщение и классификация прецедентов.

6) RETAIN – сохранение в ХП порожденного прецедента e_R, внесение в структуры ДСПИС изменений, связанных с формированием нового решения для новой проблемной ситуации;

7) REVIEW – оценка текущего состояния ХП и поддержания необходимого уровня качества ДСПИС на основе комплексной оценки качества системы;

8) RESTORE – управление ХП, в том числе перестройка индексов.

Цикл правдоподобного вывода ДСПИС, соответствующий рис. 1, формально может быть представлен как

$$\mho = \langle F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8 \rangle, \quad (1)$$

где F_1 – фаза извлечения прецедентов e_S, подобных инициирующему прецеденту e_I, на основе оценки подобия (SIM);

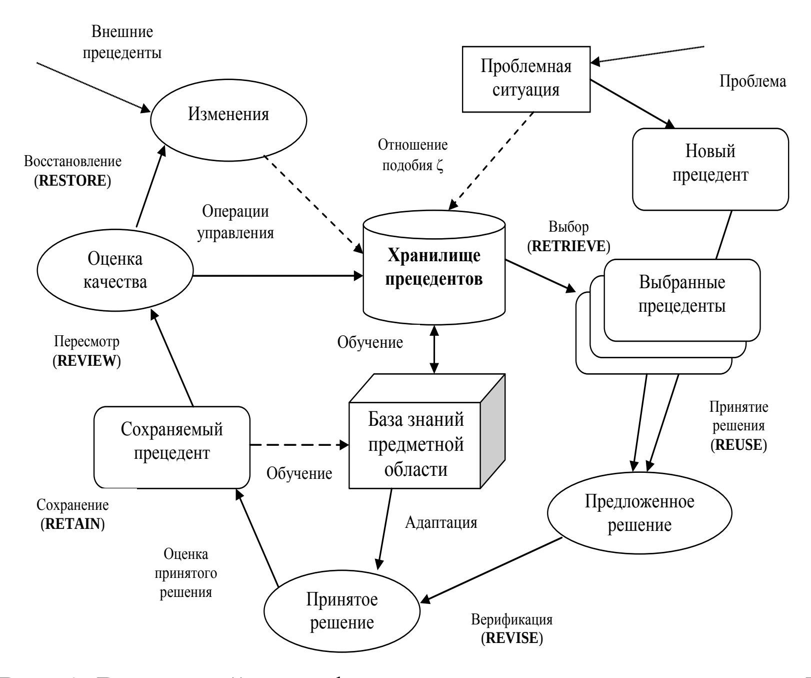


Рис. 1. Взаимодействие фаз цикла вывода по прецедентам ДСПИС

F_2 – фаза повторного использования извлеченного прецедента e_S, производится выбор уместных прецедентов e_P, для чего используется оценка уместности прецедента в сложившейся ситуации (REL);

F_3 – фаза адаптации опорного прецедента e_O;

F_4 – фаза верификации адаптированного прецедента e_A;

F_5 – фаза обучения;

F_6 – фаза накопления прецедентов;

F_7 – фаза поддержки ХП на основе оценки качества ДСПИС;

F_8 – фаза реконструкции ХП.

ДСПИС может быть функционально разделена на три параллельных взаимодействующих процесса:

– процесс *поиска* прецедентов $\mathcal{F}^S = \{F_1, F_2\}$,

– процесс *адаптации и верификации* прецедентов $\mathcal{F}^A = \{F_3, F_4\}$,

– процесс *накопления* прецедентов $\mathcal{F}^R$.

Для синтеза ДСПИС может использоваться параллельно-последовательная модель обработки информации, позволяющая реализовать цикл вывода по прецедентам как выполнение множества параллельных вычислительных потоков.

Поскольку всякий наблюдаемый поток событий S_i соответствует конкретному наблюдаемому ДО A_i, появление всякого очередного наблюдаемого ДО A_i в заданной области взаимодействия C влечет запуск нового процесса поиска решений $\mathcal{F}_i^S$. Выход некоторого наблюдаемого ДО A_k за пределы области C, соответственно, влечет завершение связанного с ним процесса поиска решений $\mathcal{F}_k^S$.

Следовательно, ДСПИС одновременно и параллельно выполняет столько процессов поиска решений $\mathcal{F}^S = \left\{\mathcal{F}_0^S, \mathcal{F}_1^S, ... \mathcal{F}_n^S\right\}$, сколько в C наблюдается ДО $\mathrm{A} = \left\{A_0, ... A_i, ... A_n\right\}$. Для каждого из наблюдаемых потоков событий $\left\{S_i\right\}_{i=0}^n$ процесс поиска решений $\mathcal{F}^S$, включающий фазы извлечения F_1 и отбора F_2, а также процесс адаптации и верификации решений $\mathcal{F}^A$ (фазы адаптации F_3 и верификации F_4) представлены на рис. 2.

Фаза извлечения F_{1i} для каждого S_i как элемент процесса $\mathcal{F}_i^S$ состоит из четырех последовательных функций обработки информации, в результате последовательного выполнения которых формируется множество активных гипотез $H_i^{(t)}$. *Фаза отбора* F_{2i} состоит из пяти последовательных функций обработки, по результатам работы которых формируется множество заключений $\mathcal{Y}_i^{(t)}$.

Особенностью модели является то, что фазы F_{1i} и F_{2i} работают параллельно, взаимодействуя по $H_i^{(t)}$. Всякий раз, когда наблюдается очередное событие $\psi_j^{S_i}$, запускается j-й шаг выполнения фазы F_{1i}. Независимо от этого, всякий раз, когда изменяется множество H_i, запускается очередной шаг выполнения фазы F_{2i}.

Совместное выполнение фаз F_{1i} и F_{2i} представляется двумя параллельными вычислительными потоками. Сформированное в момент t множество гипотез $H_i^{(t)}$ позволяет получить множество заключений $\mathcal{Y}_i^{(t)}$, а совокупность заключений $\boldsymbol{\mathcal{Y}}^{(t)} = \left\{\mathcal{Y}_i^{(t)}\right\}_{i=0}^n$, описывающая динамику наблюдаемых процессов на момент t, позволяет в момент $t+1$ найти уместное решение r_{t+1}, содержащее план Π, включающий искомую процедуру управления Ω^{Ξ}.

Формирование очередного решения r_{t+1} запускает процесс адаптации и верификации $\mathcal{F}^A$, включающий последовательно выполняемые *фазы адаптации* F_3 *и верификации* F_4 как два отдельных параллельных вычислительных потока.

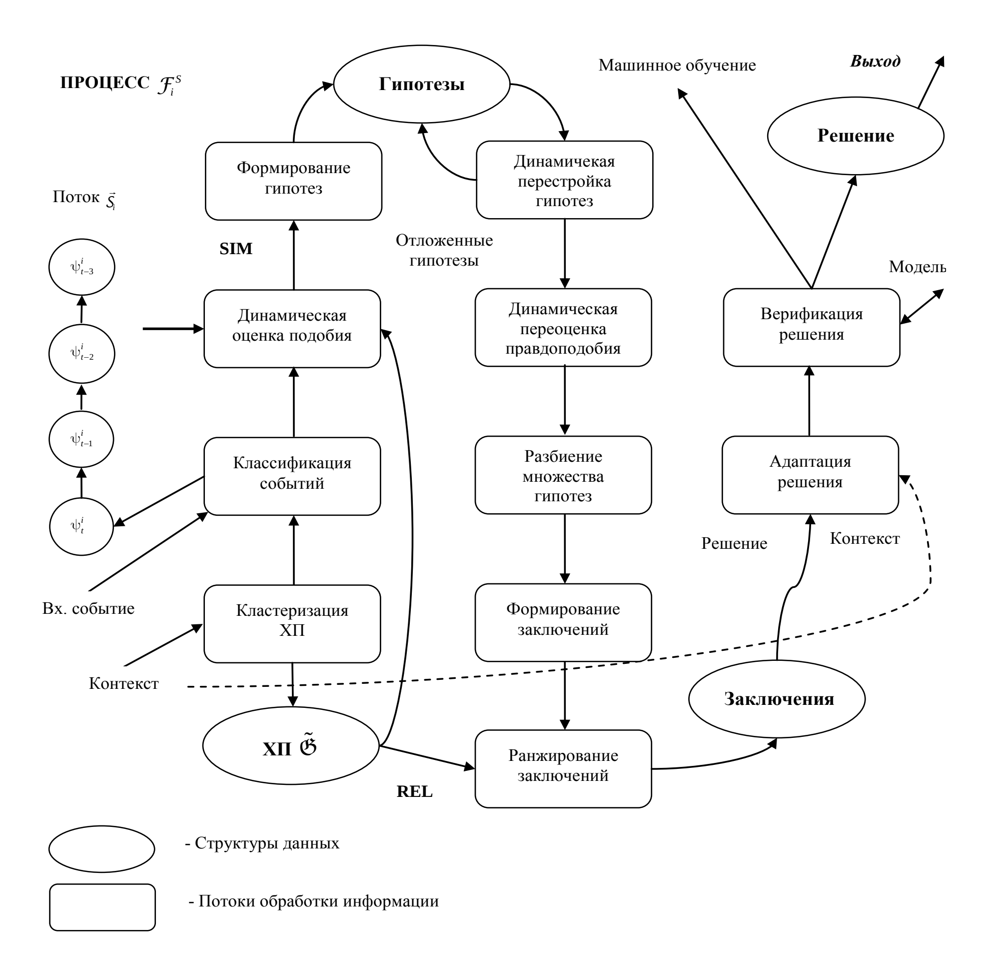


Рис. 2. Последовательно-параллельная модель реализации ДСПИС

Поскольку каждый шаг выполнения предполагает последовательное выполнение всех функций фазы с возвратом к началу, то и последовательность всех шагов фазы составляет бесконечный цикл.

Модель основного цикла вывода представлена на рис. 3, она включает множество совместно и параллельно выполняемых бесконечных процессов поиска решений $\mathcal{F}^S = \{\mathcal{F}_0^S, ...\mathcal{F}_i^S, ...\mathcal{F}_n^S\}$ – по одному для каждого наблюдаемого потока событий S_i, и процесс адаптации и верификации решения $\mathcal{F}^A$:

$$\mho = \left[\left\{\mathcal{F}_0^S \parallel ... \parallel \mathcal{F}_i^S \parallel ... \parallel \mathcal{F}_n^S\right\}; \mathcal{F}^A\right] + \mathcal{F}^R. \quad (2)$$

Имеется также самостоятельный бесконечный процесс накопления прецедентов $\mathcal{F}^R$. Поскольку на *фазах обучения* F_5 *и накопления* F_6 прецедентов выполняются переборные алгоритмы, вычислительная сложность процесса обучения и накопления прецедентов $\mathcal{F}^R = \{F_5, F_6\}$ препятствует его выполнению в основном цикле ДСПИС. Как показано на рис. 3, данный процесс вводится в обратную связь основного цикла по информации.

Появление на выходе основного цикла каждого очередного верифицированного решения r_R запускает фазу накопления F_6, которая выполняется ДСПИС асинхронно в фоновом режиме.

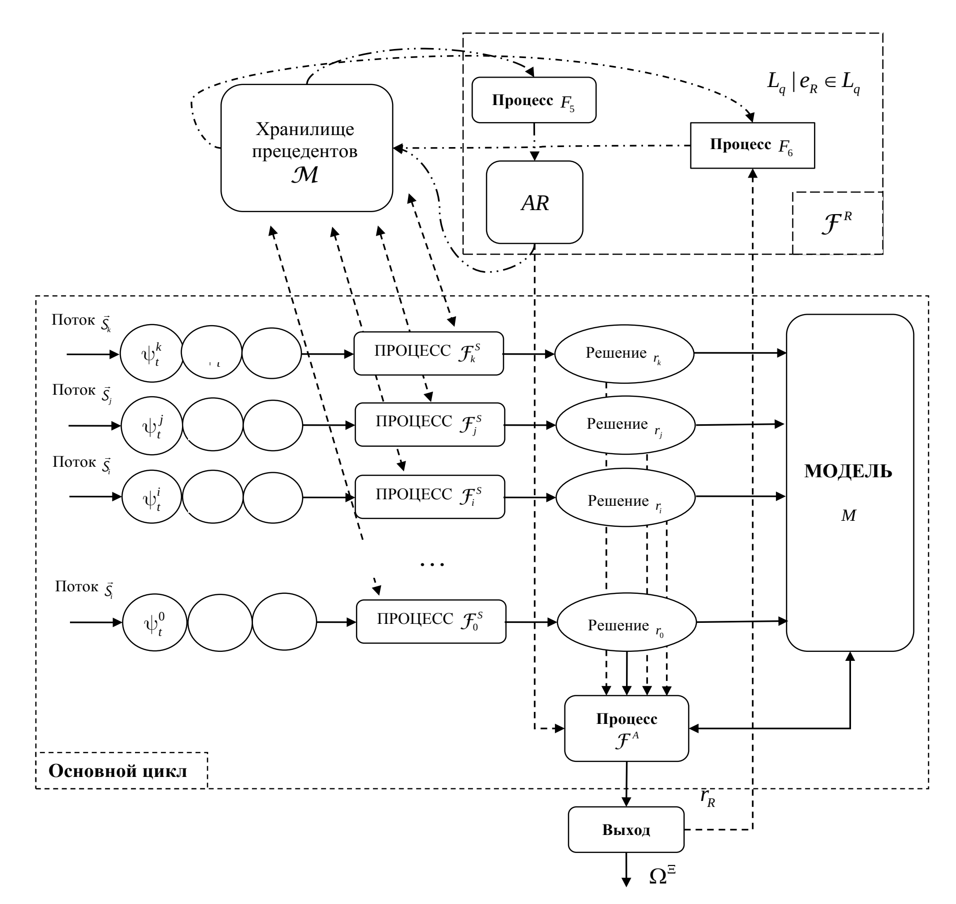


Рис. 3. Модель основного цикла вывода ДСПИС

В результате выполнения F_6 ДСПИС принимает решение – требуется ли запись e_R в ХП, и если да, то не требуется ли удалить из ХП какой-либо другой прецедент e_i, если в результате записи e_R он станет нерепрезентативным.

Фаза обучения F_5 запускается при старте ДСПИС и выполняется бесконечно в фоновом режиме, образуя цикл обучения. Фазы F_5 и F_6 представляют собой самостоятельные вычислительные потоки.

При появлении каждого нового события выполнение фаз F_5 и F_6 приостанавливается, и в приоритетном режиме выполняется основной цикл. Таким образом, процесс $\mathcal{F}^R$ является фоновым и заполняет холостое время основного цикла функционирования ДСПИС; результатом его выполнения является состояние ХП, близкое к балансу между размерами ПДСС и ветвлением в целевых вершинах, что обеспечивает требуемые показатели быстродействия ДСПИС в реальном времени.

Фазовый граф ДСПИС изображен на рис. 4.

Взаимодействие фаз при функционировании ДСПИС с учетом структуры и задач каждой фазы может быть представлено в виде модели рис. 5.

Решения $\{r_0,...r_n\}$ используются для верификации решения Ω^Ξ на модели M, а также для поиска прецедентов в качестве контекста инициирующего прецедента.

Таким образом, ядро ДСПИС реализует процессы поиска прецедентов, адаптации и верификации решений в виде множества параллельно выполняемых

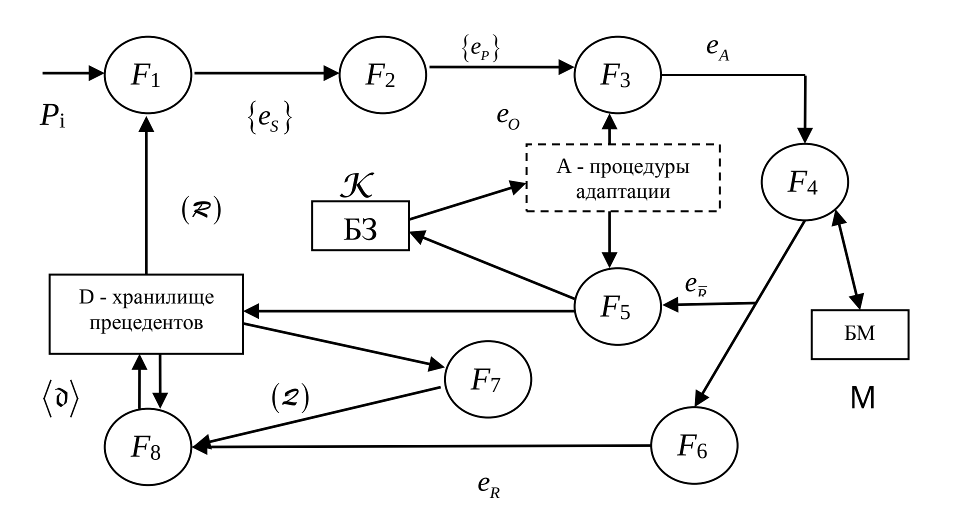


Рис. 4. Фазовый граф ДСПИС

$$e_I, \mathcal{M} \longrightarrow F_1,$$
$$F_1 \xrightarrow{\{e_S\}} F_2 \| (\mathbf{SIM}, \theta),$$
$$F_2 \xrightarrow{e_P} F_{25} \| (\mathbf{REL}, \varrho),$$
$$F_{25} \xrightarrow{e_O} F_3,$$
$$F_3, A \xrightarrow{e_A} F_4,$$
$$F_4, \mathsf{M} \xrightarrow{e_{\bar{R}}} F_6$$
$$F_4 \xrightarrow{e_{\bar{R}}} F_5,$$
$$e_I, e_{\bar{R}} \xrightarrow{F_6} e_R,$$
$$e_R \xrightarrow{F_6} \mathcal{M},$$
$$F_6 \xrightarrow{e_R} F_7 \| (\mathcal{Z}),$$
$$F_7 \xrightarrow{\mathcal{M}} F_8 \| (\partial),$$
$$F_8 \xrightarrow{\mathfrak{d}} \mathcal{M} \| (\imath),$$
$$\mathcal{M}, e_A \xrightarrow{F_{33}} (\mathcal{Z}),$$
$$e_I, e_A, \mathcal{M} \xrightarrow{F_{33}} (\mathcal{R}),$$
$$e_I, e_R, \mathcal{M} \xrightarrow{F_5} (\mathcal{K}, A).$$

Рис. 5. Модель взаимодействия фаз ДСПИС

бесконечных вычислительных потоков, а процесс обучения и накопления – в виде фонового вычислительного потока.

Система «Муссон» представляет собой универсальный каркас (*framework*) для разработки ядра ДСПИС. Она принимает на входе поток событий и формирует на выходе план Π, включающий искомую процедуру управления Ω^{Ξ} (рис. 6). Обмен информацией осуществляется приемом-передачей сообщений в формате *xml*.

Процессы поиска решений $\mathcal{F}^S$, адаптации и верификации решений $\mathcal{F}^A$, обучения и накопления прецедентов $\mathcal{F}^R$ выполнены в соответствии с предложенной моделью и взаимодействуют с помощью сообщений.

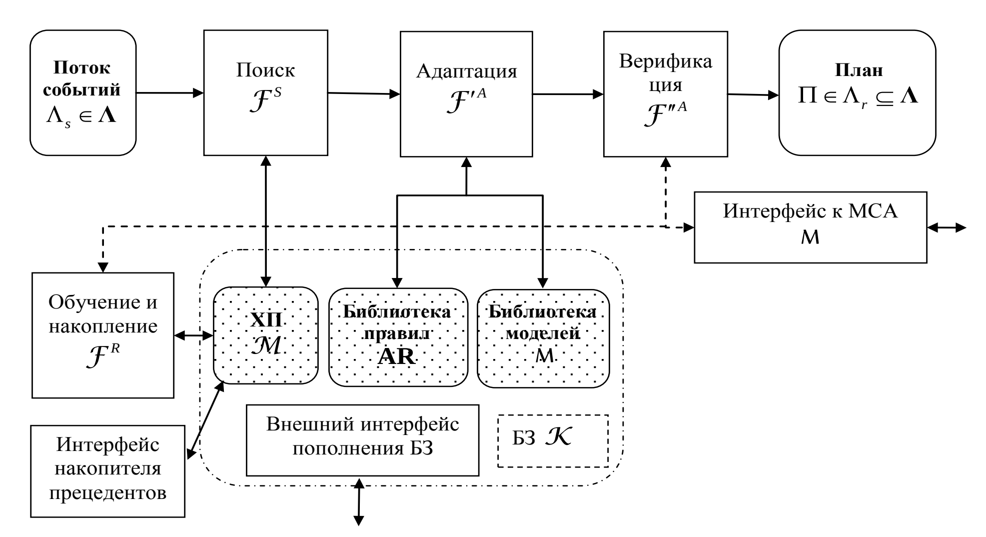


Рис. 6. Организация ДСПИС «Муссон»

На основе ядра ДСПИС «Муссон» разработаны и успешно внедрены системы поддержки принятия решений «Бриз» и «Цефей» [1], позволяющие решать в реальном времени задачи управления динамическими объектами различных классов в условиях информационно-сложных ситуаций.

Можно сделать вывод, что предложенная модель правдоподобного вывода по прецедентам работоспособна в условиях неполной и неточной информации, а низкая оценка вычислительной сложности делает ее применимой для реализации ядра ДСПИС, работающего в реальном времени.

Литература

1. Шерстюк В.Г. Сценарно-прецедентное управление эргатическими динамическими объектами / В. Г. Шерстюк. – Saarbrucken, Deutschland: Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.
2. Шерстюк В.Г. Динамическая сценарно-прецедентная интеллектуальная система для управления подвижными объектами / В. Г. Шерстюк // Искусственный интеллект. – 2011. – №4. – С.362-373.
3. Шерстюк В.Г. Динамический отбор прецедентов в интеллектуальной системе «Муссон» / В. Г. Шерстюк // Искусственный интеллект. – 2012. – №4. – С.392-403.
4. Шерстюк В.Г. Метод динамической оценки подобия потоков событий / В. Г. Шерстюк // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2013. – №2(24). – С.82-103.
5. Case-Based Reasoning Research and Development / A. Ram, N. Wiratunga: eds. // Lecture Notes in Artificial Intelligence. – London: Springer-Verlag, 2011. – Vol. 6880. – 498 p.

Literatura

1. Sherstyuk V.G. Stsenarno-pretsedentnoe upravlenie ergaticheskimi dinamicheskimi ob'ektami / V. G. Sherstyuk. – Saarbrucken, Deutschland: Lambert Academic Publishing, 2013. – 407 p.
2. Sherstyuk V.G. Dinamicheskaya stsenarno-pretsedentnaya intellektualnaya sistema dlya upravleniya podvizhnyimi ob'ektami / V. G. Sherstyuk // Iskusstvennyiy intellekt. – 2011. – №4. – S.362-373.
3. Sherstyuk V.G. Dinamicheskiy otbor pretsedentov v intellektualnoy sisteme «Musson» / V. G. Sherstyuk // Iskusstvennyiy intellekt. – 2012. – №4. – S.392-403.
4. Sherstyuk V.G. Metod dinamicheskoy otsenki podobiya potokov sobyitiy / V. G. Sherstyuk // Algoritmyi, metodyi i sistemyi obrabotki dannyih. – 2013. – №2(24). – S.82-103.
5. Case-Based Reasoning Research and Development / A. Ram, N. Wiratunga: eds. // Lecture Notes in Artificial Intelligence. – London: Springer-Verlag, 2011. – Vol. 6880. – 498 p.

RESUME

V.G. Sherstjuk

Case inference model in the "Monsoon" intelligent system

This article describes organization issues of the real time plausible case inference in a dynamic scenario-case intelligent system "Monsoon". It is based on the abductive inference mechanism proposed in [3].

The case inference process is presented in the form of an infinite loop, which consists of eight phases. The principles of interaction of the inference cycle phases is considered, the phase interaction graph based on the each phase goals and structure is built. The plausible events tree-like network formalism described in [1] was used to etalon event’s stream representation in cases.

A series-parallel model of the abductive inference cycle is proposed, in which three classes of parallel interacting processes is defined. The model of the plausible inference cycle includes the set of joint and parallel running endless solutions finding processes, each of which is associated with the certain observed event stream, and the solutions adaptation and verification process, as well as an asynchronous process of case accumulation in the background processing threads form.

The proposed plausible case inference model is efficient for incomplete and imprecise information, and its low computational complexity score makes it suitable for real-time systems, which was confirmed by the practical decision support systems implementation based on it.

В.Г. Шерстюк

Модель вывода по прецедентам в интеллектуальной системе «Муссон»

В данной статье рассмотрены вопросы организации правдоподобного вывода по прецедентам в реальном времени в динамической сценарно-прецедентной интеллектуальной системе «Муссон». В основу положен предложенный в работе [3] абдуктивный механизм вывода.

Процесс вывода по прецедентам представлен в виде бесконечного цикла, состоящего из восьми фаз. Рассмотрены принципы взаимодействия фаз цикла вывода, построен фазовый граф взаимодействия с учетом структуры и задач каждой фазы. Для представления эталонных потоков событий в прецедентах использован формализм правдоподобных древовидных сетей событий, описанный в работе [1].

Предложена последовательно-параллельная модель абдуктивного цикла вывода, в которой выделены три класса параллельных взаимодействующих процессов. Модель цикла правдоподобного вывода включает множество совместно и параллельно выполняемых бесконечных процессов поиска решений, по одному для каждого наблюдаемого потока событий, процесс адаптации и верификации решений, а также асинхронный процесс накопления прецедентов в виде фонового вычислительного потока.

Предложенная модель правдоподобного вывода по прецедентам работоспособна в условиях неполной и неточной информации, а низкая оценка вычислительной сложности делает ее применимой для систем реального времени, что подтверждается практической реализацией систем поддержки принятия решений на ее основе.

Поступила в редакцию 29.06.2015